

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-227620

(43)Date of publication of application : 10.09.1990

(51)Int.Cl.

G01J 4/04

(21)Application number : 01-047041

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 28.02.1989

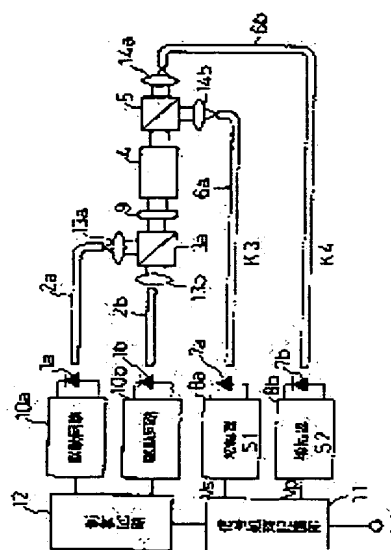
(72)Inventor : SAI YUKIO

## (54) OPTICAL MEASURING INSTRUMENT

## (57)Abstract:

PURPOSE: To measure physical quantity with high accuracy by using polarized light in two systems whose polarizing directions are different as the polarized light made incident on an optical detection medium.

CONSTITUTION: The light beams emitted from light sources 1a and 1b are made incident on a beam splitter 3a through optical fibers 2a and 2b and lenses 13a and 13b, and become P polarized transmitted light and S polarized reflected light with respect to the light wave of the fibers 2b and 2a. Next, the exiting light from the beam splitter 3a becomes circularly polarized light through a  $1/4$  plate 9 and is made incident on a detection part 4. Then, a phase difference „in proportion to the intensity of impressed electric field is given to the light wave between optical main axes in the detection part 4 and the exciting light at the exit of the detection part 4 changes from the circularly polarized light to elliptically polarized light because of the phase difference „. The elliptically polarized light is separated to P polarization and S polarization by a polarized light beam splitter 5 and converted into electric output signals V at a specified level through optical fibers 6a and 6b, photodetectors 7a and 7b and amplifiers 8a and 8b. The phase difference „ between optical main axes in the detection part 4 is obtained from the signal V in a control circuit 12 to be stored 11.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## ⑫ 公開特許公報(A) 平2-227620

⑮ Int. Cl.<sup>3</sup>

G 01 J 4/04

識別記号

Z

庁内整理番号

8707-2G

⑬ 公開 平成2年(1990)9月10日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全7頁)

⑭ 発明の名称 光学式測定装置

⑯ 特 願 平1-47041

⑰ 出 願 平1(1989)2月28日

特許法第30条第1項適用 昭和63年10月25、26、27日、計測自動制御学会、システム制御情報学会、人工知能学会、日本機械学会、日本建築学会主催の「第31回自動制御連合講演会」において文書をもつて発表

⑱ 発 明 者 佐 井 行 雄 東京都府中市東芝町1番地 株式会社東芝府中工場内

⑲ 出 願 人 株 式 会 社 東 芝 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

⑳ 代 理 人 弁理士 三好 秀和 外1名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

光学式測定装置

## 2. 特許請求の範囲

光源からの光を測定対象となる物理量存在域まで導く入力側光ファイバと、

前記入力側光ファイバで導かれた光を偏光させる偏光子と、

測定対象となる物理量存在域に配置され、前記偏光子からの偏光が入射される光学的検出媒体と、

前記光学的検出媒体から出射される光より偏光方向の異なる2系統の偏光を分離する検光子と、

前記検光子で分離された2系統の偏光を受光素子へと導く出力側光ファイバと、

前記2系統の偏光に対応して受光素子から得られる系統の出力に基いて測定対象となる物理量を算出する演算部と、を備えた光学式測定装置において、

前記光学的検出媒体へ入射される偏光として、

偏光方向の異なる2系統の偏光を用いること、を特徴とする光学式測定装置。

## 3. 発明の詳細な説明

[発明の目的]

(産業上の利用分野)

この発明は、電気光学効果(ポッケルス効果)ファラデー効果、光弾性効果等により光学的検出媒体に生ずる偏波状態の変化を検光子を用いて強度変化に変換し、被測定物理量の計測を行なう光学式測定装置の改良に関する。

(従来技術)

第5図は、従来の光学式測定装置の構成を示す模式図である。

同図において、光源1より発せられた光は光ファイバ2の中を過み、偏光子3により特定方向の直線偏光となる。

検出部4の光学材料は、被測定物理量の影響で光学的に異方性となるか、またはその異方性の状態が変化している。

これは、例えば印加電圧による電気光学係数の

差によって生じたり、複屈折性結晶の常光線、異常光線に対する温度変動による屈折率差の変化で生じる。このような材料としては、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 等の光学結晶がよく知られている。

これらの光学的異方状態となった媒質中に入射した直線偏波はその出口ではその部材の光学的主軸間で位相差 $\delta$ を生じるため、一般的には楕円偏光となる。

被測定物理量はこの光学的主軸間の位相差 $\delta$ とほぼ線形関係にあるため、その楕円率を知ることにより位相差 $\delta$ を求めることができる。

この目的を達成するため、例えば媒質の光学的主軸と入射直線偏光の方向とは $45^\circ$ 傾けられ、検光子となる偏光分離プリズム5では入射直線偏光方向とそれと垂直方向との2つの成分を検出し、それぞれを別々の光ファイバ6a、6bで伝送し受光素子7a、7bにて電気信号に変換して演算により位相差 $\delta$ に比例した信号を得ればよいわけである。

ところが、検光子となる偏光分離プリズム5の

$$\sin \delta = \frac{V_s - V_p}{V_s + V_p}$$

で、 $\sin \delta$ の値が求められる。

しかし、実際の構成においては、光源1の強度、光ファイバ2の伝送損失、光コネクタの損失、受光素子7a、7bの感度の変動の影響を考慮しなければならない。

すなわち、P偏光、S偏光の出力 $V_p$ 、 $V_s$ は

$$V_s = \frac{1}{2} \cdot K_1 \cdot P_0 \cdot K_3 \cdot S_1 \cdot (1 + \sin \delta)$$

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot K_1 \cdot P_0 \cdot K_4 \cdot S_2 \cdot (1 - \sin \delta)$$

となる。ここで $K_1$ は入力側光ファイバ2の透過率、 $P_0$ は光源1から光ファイバ2への結合パワー、 $K_3$ はS偏光出力側光ファイバ6aの透過率、 $K_4$ はP偏光出力側光ファイバ6bの透過率、 $S_1$ は増幅器8aのS偏光光/電気変換増幅率、 $S_2$ は増幅器8bのP偏光光/電気変換増幅率を表わす。

光学的主軸間の位相差 $\delta$ を求めようとすると、

出力光は、P偏光、S偏光それぞれ

$$P \text{ 偏光} = \frac{P_0}{2} (1 + \cos \delta)$$

$$S \text{ 偏光} = \frac{P_0}{2} (1 - \cos \delta)$$

となり、 $\delta$ に関し $\cos$ 関数であるため $\delta$ の変化に対する感度が小さくかつ非線形性が大きい。

これを改善するため一般的には $1/4$ 波長板9を検出部4の前または後に配置して、あらかじめ光学的主軸間に $90^\circ$ の位相差を与えておくと、

$$\cos(\delta + 90^\circ) = -\sin \delta$$

となり、それぞれの出力は $\delta$ の $\sin$ 関数として

$$P \text{ 偏光} \rightarrow \frac{P_0}{2} (1 - \sin \delta) = K V_p$$

$$S \text{ 偏光} \rightarrow \frac{P_0}{2} (1 + \sin \delta) = K V_s$$

となる。

$\sin$ 関数の場合、 $\delta = 0^\circ$ 近傍の直線性、感度共によい位置にバイアスされた状態となる。この時、

従来は

$$\sin \delta = \frac{V_s - V_p}{V_s + V_p}$$

なる演算を用いて、 $K_3 - K_4$ 、 $S_1 - S_2$ としてその演算結果を $\sin \delta$ としていた。

しかし、その条件は一般には成立しがたく厳密な演算結果は

$$\sin \delta = \frac{\sin \delta + \Delta}{1 + \Delta \cdot \sin \delta}$$

$$\text{ただし、} \Delta = \frac{K_3 \cdot S_1 - K_4 \cdot S_2}{K_3 \cdot S_1 + K_4 \cdot S_2}$$

となり、 $\Delta \ll 1$ の場合のみ

$$\sin \delta \approx \sin \delta$$

と近似することができる。

$\Delta \ll 1$ が成立するためには、 $K_3 \cdot S_1 - K_4 \cdot S_2$ の条件が必要となる。

しかし、 $\Delta$ の値は $\delta$ が $1^\circ$ 以下の分解能で求めようとすれば $1/1000$ オーダーでなければならず、周囲温度の変動等も含めそのような安定性を得ることは困難である。

すなわち、従来の検出法では光源1の変動、入力側光ファイバ2の伝送損失の変動は補償されて

いるが、偏光子である偏光分離プリズム5以後の光軸ずれによる損失や受光素子7a, 7bの感度の温度特性差の変動の影響は補償されていないのである。

(発明が解決しようとする課題)

上述のように、従来の光学式測定装置においては、光源1の変動、入力側光ファイバ2の伝送損失の変動は補償されているものの、検光子となる偏光分離プリズム5以降の光軸ずれによる損失や受光素子感度の温度特性差の変動の影響は補償されていないのである。

この発明は、上述の問題点に鑑みなされたものであり、その目的とするところは、この種の光学式測定装置において、検光子以後の損失変動、光/電気変換増幅係数の影響をも補償することにある。

[発明の構成]

(課題を解決するための手段)

この発明は、上記の目的を達成するために、光源からの光を測定対象となる物理量存在域まで

を $V_{p1}$ ,  $V_{s1}$ , 第2の光源を点灯した時のP偏光出力, S偏光出力を $V_{p2}$ ,  $V_{s2}$ とすれば、検出部で与えられる光学的主軸間位相差 $\delta$ は

$$\sin \delta = \pm \frac{\sqrt{V_{s1} \cdot V_{p2}} - \sqrt{V_{p1} \cdot V_{s2}}}{\sqrt{V_{s1} \cdot V_{p2}} + \sqrt{V_{p1} \cdot V_{s2}}}$$

となり、すなわち検光子以後の損失変動、光/電気変換増幅係数の変動の影響をも補償することが可能となる。

(実施例)

第1図は、本発明に係わる光学式測定装置の一実施例を示す模式図である。

なお、同図において前記第5図の従来例と同一構成部分については、同符号を付して説明は省略する。

同図において、光源1a, 1bは、適当にそのスペクトル半値幅の狭い光源であればよく、特に高いコヒーレンシーは必要としない。例えば、LED, LD等の半導体光源等の駆動装置が簡便で使いよい。ただし、2つの光源の発光中心波長は

導く入力側光ファイバと、前記入力側光ファイバで導かれた光を偏光させる偏光子と、測定対象となる物理量存在域に配置され、前記偏光子からの偏光が入射される光学的検出媒体と、前記光学的検出媒体から出射される光より偏光方向の異なる2系統の偏光を分離する検光子と、前記検光子で分離された2系統の偏光を受光素子へと導く出力側光ファイバと、前記2系統の偏光に対応して受光素子から得られる系統の出力に基づいて測定対象となる物理量を算出する演算部と、を備えた光学式測定装置において、前記光学的検出媒体へ入射される偏光として、偏光方向の異なる2系統の偏光を用いることを特徴とするものである。

(作用)

このような構成によれば、例えば実施例に示されるように、第1, 第2の光源を用意して検出部に対し偏光方向が互いに90°異なった直線偏光を入射し、その出射光よりP偏光成分, S偏光成分をそれぞれ独立に検出するものとすれば、第1の光源を点灯した時のP偏光出力, S偏光出力

ほぼ等しいことが必要である。

また、光ファイバ2a, 2b, 6a, 6bとしては、マルチモード, シングルモードの別を問わない。

受光素子7a, 7bは光源の波長が受光できればよく、その特性が揃っている必要はなく、それが本発明の特徴の1つでもある。一般的には、フォトダイオード等の半導体受光素子が用いられる。

光ファイバ2a, 2bより出射した光はそれぞれレンズ13a, 13bによって平行ビームとなり、偏光子である偏光ビームスプリッタ(Polarized Beam Splitter)3aの異なる面に入射する。

偏光ビームスプリッタ3aの反射面は、光ファイバ2bの光波に対してはP偏光透過光, 光ファイバ2aの光波に対してはS偏光反射光の直線偏光となっている。

検出部4の手前には1/4λ板9が設けられて、あらかじめ検出部光学結晶の光学的主軸間には90°の位相差が与えられており、従って検出部4

への入射光は円偏光となっている。

検出部4では電気光学結晶例えば $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_2$ 等がよく知られており、印加電界強度に比例した位相差 $\delta$ をその光学的主軸間の光波に与える。

この位相差 $\delta$ により、検出部出口の出射光は円偏光から精円偏光となっている。

光ファイバ2bのP偏光、光ファイバ2aのS偏光は偏光面が垂直であり、これは光学的主軸間の位相差にすると $180^\circ$ ずれていることになる。

すなわち $1/4$ 波長板9で $90^\circ$ の位相バイアスを与えられ $\delta$ に関する $\sin$ 関数でその出力が変化するように組まれた検出系は入射光がP偏光かS偏光かにより位相差が $180^\circ$ 異なるため、 $\delta$ の変化に対する符号が異なる。

これは、出射精円偏光のつぶれる方向がちょうど逆になっていることを意味する。

検光子である偏光ビームスプリッタ5はこの精円偏光をそれぞれP偏光、S偏光に分離して再び

$$\sin \delta = \pm \frac{\sqrt{V_{S1} \cdot V_{P2}} - \sqrt{V_{P1} \cdot V_{S2}}}{\sqrt{V_{S1} \cdot V_{P2}} + \sqrt{V_{P1} \cdot V_{S2}}}$$

が得られ、4つの電気出力信号 $V_{P1}$ 、 $V_{S1}$ 、 $V_{P2}$ 、 $V_{S2}$ から検出部4における光学的主軸間位相差 $\delta$ が求められる。

この演算は、光源1a、1bを制御回路12にて交替的に点滅させ、信号処理記憶部11でその値を記憶させ、演算を実行させ、印加電界に比例した規格化信号として出力すればよい。

本発明によれば、位相差 $\delta$ を光源の強度、伝送路の損失、接続損失、受光素子感度の変動の影響を一切受けずに求めることができる。

第2図は本発明の安定性を確認するために出力側光ファイバ6aに損失を与えた場合の第5図における従来方式と第1図における本発明の検出方式に対する得られる位相差 $\delta$ の安定度を比較して示すグラフである。

検出部4としては入射面(001)のニオブ酸リチウム結晶を用いた電圧計を構成した。

従来方式では50%の伝送路の透過率変化に対

光ファイバ6a、6bに入射し、受光素子7a、7bに光は伝送され、増幅器8a、8bにより所定のレベルの電気出力信号Vに変換される。

この電気出力信号Vは光源強度P、光学系透過率K、検出部変調率、受光素子感度と増幅器のゲインの積Sの積として表わすことができ、光源1aを点灯した時のS偏光出力 $V_{S1}$ 、P偏光出力 $V_{P1}$ 、光源1bを点灯した時のS偏光出力 $V_{S2}$ 、P偏光出力 $V_{P2}$ はそれぞれ

$$V_{P1} =$$

$$1/2 \cdot P1 \cdot K1 \cdot K3 \cdot S2 (1 - \sin \delta)$$

$$V_{S1} =$$

$$1/2 \cdot P1 \cdot K1 \cdot K4 \cdot S1 (1 + \sin \delta)$$

$$V_{P2} =$$

$$1/2 \cdot P2 \cdot K2 \cdot K4 \cdot S2 (1 + \sin \delta)$$

$$V_{S2} =$$

$$1/2 \cdot P2 \cdot K2 \cdot K3 \cdot S1 (1 - \sin \delta)$$

で表わすことができ、これらの式から $\sin \delta$ について解くと、

し $4 \sim 7^\circ$ の角度誤差が生じているが、本発明の信号処理では最大でも $0.2^\circ$ 以下とはるかに小さい値となり、本発明方式が非常に優れた検出方式であることが確認される。

他の検出原理例えば光弾性についても同じ体系で検出することができる。

光弾性の場合には、検出部の光学的主軸間に異なった応力を発生させ複屈折を生じることにより、透過円偏波が精円偏波となる。

検出部4の部材としては、バイレックスガラス、アクリル等が用いられる。

次に、第3図を用いてファラデー効果に代表される偏波面旋回型の光ファイバセンサに対する本発明の別の実施例について述べる。

ファラデー効果を応用する場合、検出部4に入射した直線偏光はその出口では偏光面が回転した直線偏波となって出射する。

出射光がポッケルス効果のように精円偏波ではなく直線偏光で得られる点が大きく異なり、これはその原因が複屈折のような異方性が原因ではな



く、電子の回転運動の磁場による向きによる違いが原因となっているため、すべての物質で観測される。

従って、ポッケルス効果の時に行った円偏波化による90°の位相差をバイアスさせる手法は取ることができない。

しかし、一般には検光子と偏光子の角度を45°回転させることにより、透過光強度Pは

$$P = \frac{P_0}{2} (1 + \sin 2\phi)$$

と表わすことができる。ここでφはファラデー回転角でφ = VHL (V; ヴェルデ定数, H; 磁界強度, L; 光路長) である。

さて、第4図に示すような体系で、本発明をファラデー効果を応用したセンサに適用することができる。

すなわち、第4図に示されるように、光ファイバ2aからの入射光A(強度P<sub>0</sub>)に対する出射光A, Bの強度P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>は

$$P_1 = P_0 \cos^2 \theta = P_0 \cos^2 (\phi + 45^\circ)$$

$$\sin 2\phi = \frac{\sqrt{P_1 \cdot P_2} - \sqrt{P_1' \cdot P_2'}}{\sqrt{P_1 \cdot P_2} + \sqrt{P_1' \cdot P_2'}}$$

となる。

このように以上の実施例によれば、2つの光源1a, 1bを用意して検出部4に対し偏光方向が互いに90°異なった直線偏光を入射し、その出射光からP偏光成分, S偏光成分をそれぞれ独立に検出し、光源1aを点灯した時のP偏光出力, S偏光出力をV<sub>p1</sub>, V<sub>s1</sub>, 光源1bを点灯した時のP偏光出力, S偏光出力をV<sub>p2</sub>, V<sub>s2</sub>とすると、検出部4で与えられる光学的主軸間位相差δは

$$\sin \delta = \frac{\sqrt{V_{s1} \cdot V_{p2}} - \sqrt{V_{p1} \cdot V_{s2}}}{\sqrt{V_{s1} \cdot V_{p2}} + \sqrt{V_{p1} \cdot V_{s2}}}$$

なる演算を行うことにより達成することが可能となり、これにより偏光子以降の損失変動, 光/電気変換増幅係数の変動の影響をも補償することが可能となるのである。

$$\begin{aligned} &= \frac{P_0}{2} (1 + \cos 2(\phi + 45^\circ)) \\ &= \frac{P_0}{2} (1 - \sin 2\phi) \\ P_2 &= P_0 \sin^2 \theta \\ &= \frac{P_0}{2} (1 - \cos 2(\phi + 45^\circ)) \\ &= \frac{P_0}{2} (1 + \sin 2\phi) \end{aligned}$$

となる。

一方、入射光B(強度P<sub>02</sub>)に対する出射光A, Bの強度P<sub>1'</sub>, P<sub>2'</sub>は

$$P_1' = P_0 \sin^2 \theta = \frac{P_0}{2} (1 + \sin 2\phi)$$

$$P_2' = P_0 \cos^2 \theta = \frac{P_0}{2} (1 - \sin 2\phi)$$

と得られ、第1の実施例と同様な数式となり、本発明が有効であることが確認される。

すなわち

#### [発明の効果]

以上の説明で明らかなように、この発明によれば、この種の偏光状態の変化を利用する光学式測定装置において、検光子以降の損失変動, 光/電気変換増幅係数の変動の影響を排除し、高精度の物理量測定を可能とすることができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明に係る光学式測定装置の一実施例を示す模式図、第2図は本発明による測定結果を従来例による測定結果と比較して示すグラフ、第3図は本発明の他の実施例を説明するための模式図、第4図は同他の実施例における作用を説明するためのグラフ、第5図は従来の光学式測定装置の構成を示す模式図である。

1a, 1b … 光源

2a, 2b … 入力側光ファイバ

3a … 偏光ビームスプリッタ

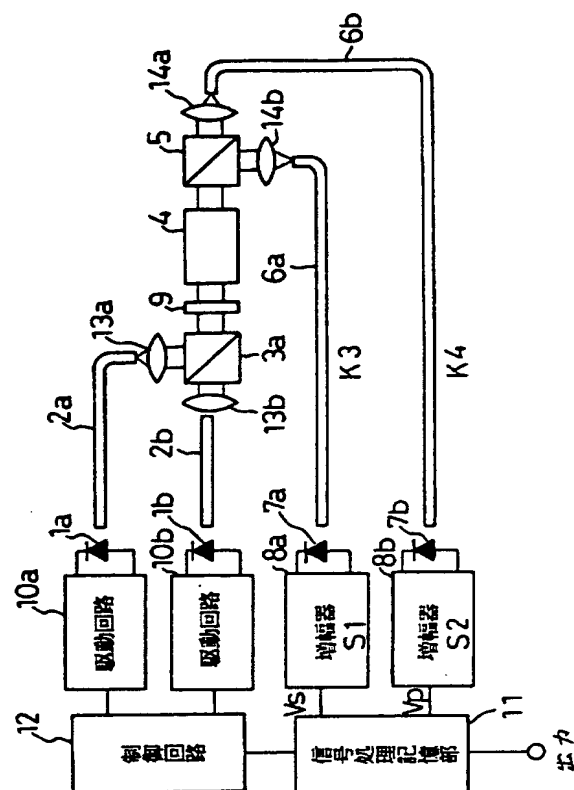
4 … 検出部

5 … 偏光分離プリズム

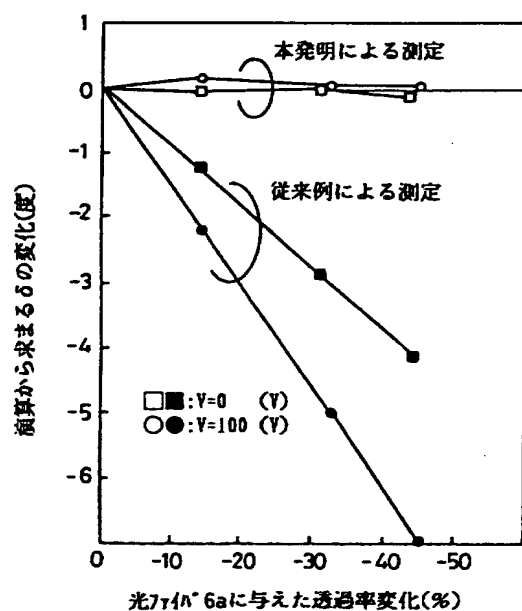
6a, 6b … 出力側光ファイバ

- 7a, 7b ... 受光素子  
 8a, 8b ... 増幅器  
 9 ...  $1/4\lambda$ 板  
 10a, 10b ... 駆動回路  
 11 ... 信号処理記憶部  
 12 ... 制御回路  
 13a, 13b ... レンズ  
 14a, 14b ... レンズ

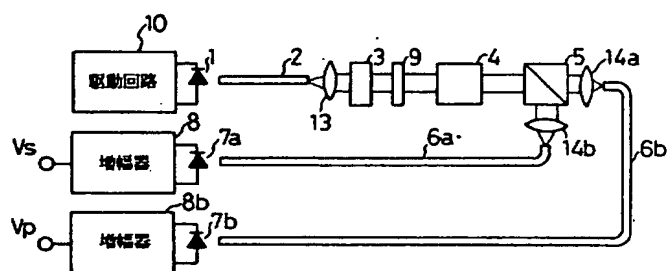
代理人弁理士 三好秀和



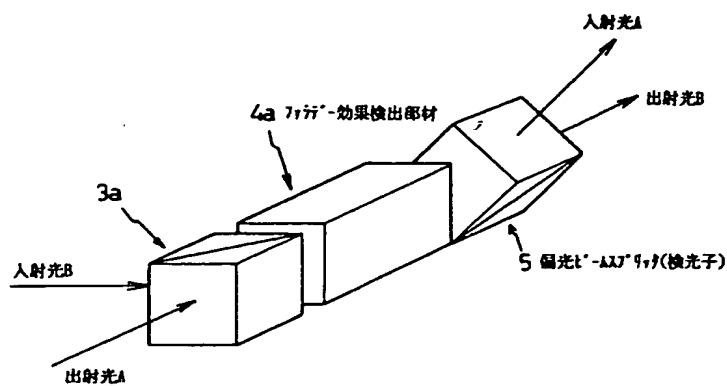
第 1 図



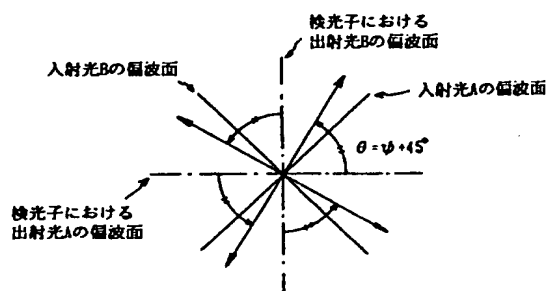
第 2 図



第 5 図



第 3 図



第 4 図

Best Available Copy

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**